

## Trabajo Fin de Grado

# LA IMPRESIÓN 3D EN REPUESTOS DE SEGUNDO ESCALÓN DE MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS TIPO VAMTAC

Autor

C.A.C. inf. D. José María Lozano Garrido

Directores

Dña. Natalia Utrero González  
Capitán. D. Juan José Martín Pulido

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar  
Año 2019



# Resumen

Las fuerzas armadas españolas y, concretamente, el ejército de tierra está analizando las posibilidades de la impresión aditiva como solución a los problemas que se dan en el proceso de reabastecimiento del segundo escalón de mantenimiento de las unidades. Esto es debido a los largos tiempos de espera que se genera en el transcurso de esta actividad, lo cual supone una considerable pérdida de operatividad para la unidad. Por ello, implementar en las unidades unas impresoras 3D que sean capaces de fabricar esos repuestos proporcionaría a la unidad una gran independencia para poder mejorar la instrucción de sus componentes, ya que gran parte de las actividades se ven limitadas por falta de repuestos de los vehículos. La implementación de esta tecnología en el Ejército no es algo novedoso a nivel mundial.

Así el Ejército estadounidense ya lo ha desarrollado y con sus impresoras son capaces de producir piezas con materiales extremadamente resistentes. Además, cabe destacar el informe que publicó el Ministerio de Defensa en marzo de 2019 titulado "Fabricación Aditiva", en el que se hacía un extenso estudio de esta nueva tecnología.

En este trabajo, se analiza la posibilidad de utilizar la impresión aditiva en los vehículos tipo VAMTAC. En particular, se estudian aquellos repuestos que tengan menos vida útil o sufran más desgaste que el resto para averiguar si es viable obtenerlos usando fabricación aditiva, debido a que estos tipos de repuestos necesitan ser reemplazados con mayor frecuencia. Para ello, se realizó una entrevista al personal del segundo escalón de mantenimiento, debido a que son los encargados de registrar todos los repuestos que quedan inoperativos y realizar la solicitud para que la unidad sea reabastecida de los mismos. Por este motivo, dicho personal conoce a la perfección el número de piezas que es necesario pedir y con qué frecuencia se deben solicitar ciertos tipos de repuestos. Así mismo, tuvieron lugar dos entrevistas más, una al Capitán de ingenieros D. Javier Deleyto Sánchez destinado en El Goloso y a Alfonso López Ruiz, técnico especialista en informática en el Hospital de Hellín. Además, tuvo lugar un estudio sobre la cantidad de repuestos que se podrían fabricar con una impresora 3D, así como un análisis de viabilidad económica donde se analizaron todos los costes que se producían al usar la fabricación aditiva frente al uso de los métodos tradicionales.

Finalmente, se llegó a la conclusión de que la implementación de esta brillante tecnología aportaría grandes beneficios a la unidad, ya que mediante el uso de esta, se es capaz de producir un gran número de repuestos que pueden imitar o incluso superar a los originales. De esta manera, se podría conseguir que algunas de las piezas fuesen más resistentes y además que los vehículos dispusiesen de recambios con mayor frecuencia, con el fin de mantener el programa semanal de instrucción de la unidad.



# Abstract

The Spanish armed forces and, specifically, the army is analyzing the possibilities of additive printing as a solution to the problems that occur in the process of resupplying the second maintenance step of the units, due to the long and high waiting times that are generated in the course of this activity. Therefore, implementing a 3D printer in the units that can manufacture these spare parts, provide the unit with great independence in order to improve the instruction of its components, because it is limited due to lack of vehicle parts. The implementation of this technology in the Army is not something new worldwide.

Thus, the US Army has already developed it and with its printers they can produce parts with extremely resistant materials. In addition, it is worth noting the report published by the Ministry of Defense in March 2019 entitled "Additive Manufacturing", in which an extensive study of this new technology was done.

In this work, we analyzed the possibility of using additive printing on VAMTAC vehicles, since a new fleet of this type of vehicle is expected in the unit. Those parts that had less useful life or suffered more wear than the rest were studied to find out if it was feasible to obtain them using additive manufacturing, because these types of spare parts need to be replaced more frequently. For this, it was necessary to conduct a series of interviews with the personnel of the second maintenance step, because they oversee registering all the spare parts that are inoperative and making the request for the unit to be replenished. For this reason, they know perfectly the number of pieces that need to be ordered and how often it is necessary to request certain types of spare parts.

Likewise, two more interviews took place, one to the Captain of Engineers D. Javier Deleyto Sánchez assigned to El Goloso and Alfonso López Ruiz, a computer specialist in Hellín's Hospital. In addition, a study was carried out on the quantity of spare parts that could be manufactured with a 3D printer, as well as an economic feasibility analysis where all the costs that will be produced when using additive manufacturing versus the use of traditional methods will be analyzed

Finally, it was concluded that the implementation of this brilliant technology would bring great benefits to the unit, since by using it, it can produce many spare parts that can mimic or even surpass the originals. In this way, it could be achieved that some of the parts were more resistant and moreover the vehicles had spare parts more frequently, in order to maintain the weekly instruction program of the unit.



# Agradecimientos

Quisiera incluir en esta sección a todas las personas que me han ayudado en la realización del trabajo, las cuales son las siguientes:

- Al capitán de ingenieros D. Javier Deleyto Sánchez por concederme la oportunidad de realizarle una entrevista acerca de la impresora 3D que tienen implementada en el acuartelamiento El Goloso.
- Al teniente de infantería D. José Ramón Lago Alonso por toda la información que me ha proporcionado acerca de la unidad.
- Al sargento 1º D. José Antonio Guillén Dueñas por hacer posible que obtuviese toda la información necesaria acerca del segundo escalón de mantenimiento de la unidad.
- A Alfonso López Ruiz, técnico especialista de informática en el hospital de Hellín por la magistral entrevista que tuve con él, en la cual entendí el funcionamiento completo de una impresora 3D.
- A todos los miembros de la Brigada “Almogávares” III de paracaidistas que han hecho posible la realización de este trabajo.





# Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Acrónimos.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos y motivación.....	1
1.2. Plan de trabajo .....	1
1.3. Estructura del trabajo.....	2
<b>Capítulo 2. Estado del arte.....</b>	<b>3</b>
2.1. Evolución de la impresión 3D en el Ministerio de Defensa.....	3
2.2. La impresión 3D en El Goloso .....	6
2.3. Fabricación aditiva y el ejército estadounidense .....	7
<b>Capítulo 3. Desarrollo.....</b>	<b>11</b>
3.1. Capacidades y carencias de la unidad .....	12
3.2. Análisis de riesgos .....	13
3.3. Análisis DAFO .....	15
3.4. Análisis de viabilidad .....	16
3.4.1. Viabilidad técnica.....	16
3.4.2. Viabilidad económica.....	17
<b>Capítulo 4. Conclusiones y trabajo futuro.....</b>	<b>26</b>
<b>Apéndice A .....</b>	<b>27</b>
A.1 Encuesta realizada al segundo escalón de mantenimiento .....	27
<b>Apéndice B .....</b>	<b>29</b>
B.1 Análisis de riesgos. ....	29
<b>Apéndice C .....</b>	<b>30</b>
C.1 Piezas con posibilidad de ser impresas. ....	30
<b>Referencias .....</b>	<b>31</b>



# Índice de figuras

Figura 1. Ejemplo loggers para pingüinos. Usando PLA. ....	4
Figura 2. Esquema del protocolo de trabajo entre CUD y BAE GdC. ....	5
Figura 3. Impresora CR-10. Modelo parecido al del Goloso. ....	7
Figura 4. Impresora usada en el programa ACES. ....	8
Figura 5. FARO Focus Laser Scanners ....	9
Figura 6. Tapón usado para proteger el sistema de extinción de incendios de los vehículos tipo MRAP. ....	10
Figura 7. Pieza fabricada con AF96 ....	10
Figura 8. Organigrama de la BPAC III ....	11
Figura 9. Matriz de Riesgos. ....	14
Figura 10. Análisis DAFO. ....	16
Figura 11. Coste de un Depósito de agua del lavaparabrisas con impresora 3D. ....	21
Figura 12. Gráfico de la distribución de costes. ....	22
Figura 13. Precio de la pieza usando la manera tradicional. ....	22
Figura 14. Coste de un tubo intercooler de titanio. ....	23
Figura 15. Precio de la pieza usando la manera tradicional. ....	24
Figura 16. Tabla de Análisis de Riesgos. ....	29
Figura 17. Deposito Lavaparabrisas. Número 5. ....	30
Figura 18. Tubo rígido intercooler. Número 1. ....	30
Figura 19. Rotulas de trapecio. Numero 45 y numero 11. <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	



# Lista de Acrónimos

AALOG	Agrupación de Apoyo Logístico.
ACES	Automated Construction of Expeditionary Structures.
BAE GdC	Base Antártica Española Gabriel de Castilla.
CAD	Auto Computer Aid Design.
CUD	Centro Universitario de la Defensa
DAFO	Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Debilidades.
EOD	Explosive Ordnance Disposal
FDM	Fused Deposition Modeling
HK	Heckler & Koch
MRAP	Mine-Resistant Ambush Protected
PETG	PolyEthylen Terephthalato de Glicol
PLA	Poliácido Láctico
SIGLE	Sistema Integrado de Gestión Logística del Ejército
TFG	Trabajo Fin de Grado
VAMTAC	Vehículo de Alta Movilidad Táctico



# Capítulo 1. Introducción

La impresión 3D es una tecnología emergente que ha marcado un antes y un después en el sector de la industria, debido a que gracias a la misma se es capaz de abaratar los costes de producción de las piezas e incluso reducir los tiempos de espera de recepción de estas[1]. Es necesario destacar, que lo más complejo del proceso de fabricación es el diseño y modelado de las piezas que se quieren producir, debido a que se requieren amplios conocimientos en manejo y edición de las diferentes aplicaciones que se usan para generar el archivo. Actualmente, la impresión 3D puede ser una magnífica opción empleada para la fabricación de nuevas piezas y/o mejora del diseño de las ya existentes, la cual es usada por múltiples empresas<sup>1</sup> como principal método de producción[2].

## 1.1. Objetivos y motivación

El principal objetivo que se plantea en este trabajo consiste en realizar un estudio económico que nos permita analizar la viabilidad de usar una impresora 3D para el segundo escalón de mantenimiento. Así, la unidad podría reabastecerse de manera autónoma y evitar que un vehículo pueda quedarse inoperativo por el simple hecho de no disponer en el escalón de una pieza. Por ello, se quiere implementar esta tecnología en la unidad, para conseguir aumentar la operatividad de esta.

Para la realización del estudio, se deberán realizar, entre otras, las siguientes tareas:

1. Evaluar la viabilidad de implementar una impresora 3D en el segundo escalón.
2. Analizar la posible reducción de los costes de obtención de repuestos.
3. Comparar los tiempos de espera de recepción de pieza mediante impresión aditiva en contraposición con la manera tradicional.

## 1.2. Plan de trabajo

La elaboración del proyecto se puede subdividir en cinco fases:

1. En primer lugar, se realizó un estudio del estado del arte sobre la impresión aditiva a nivel mundial[1], centrándonos en las Fuerzas Armadas Españolas y Estadounidenses. La duración ha sido de una semana.
2. En segundo lugar, se hizo un estudio de la situación actual de la logística en el segundo escalón de mantenimiento de las unidades, concretamente, centrándonos en los repuestos de los vehículos tipo VAMTAC y posibilidades de mejora a través de la impresión aditiva. La duración ha sido de dos semanas.
3. En tercer lugar, se realizaron una serie de entrevistas a diferentes expertos en fabricación aditiva. La primera, implicó al personal del segundo escalón de mantenimiento de la unidad. La segunda, se realizó a Alfonso López Ruiz<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Como por ejemplo: Ford, Boeing, Nike, Hershey, etc.

<sup>2</sup> Técnico especialista de informática en el Hospital de Hellín.

Y la tercera, al Capitán D. Javier Deleyto Sánchez<sup>3</sup>. La duración ha sido de dos semanas

4. Finalmente, una vez recopilados todos los datos proporcionados por los entrevistados y por la investigación realizada, se analizaron a través de distintas herramientas, estudiadas en el Grado, como: Análisis DAFO y Análisis de riesgos. Además, se realizó una comparativa de los costes y tiempos de espera del reabastecimiento del segundo escalón mediante impresión aditiva frente a la manera tradicional para evaluar la viabilidad de implementar impresoras 3D en las unidades. La duración total ha sido de 2 semanas
5. La última semana ha sido dedicada a interpretar los resultados obtenidos, extraer conclusiones y proponer futuras líneas de investigación

### 1.3. Estructura del trabajo

El trabajo realizado se ha estructurado de la siguiente manera:

- **Capítulo 1. Introducción:** Se hace una breve descripción de los problemas que pretende solucionar este proyecto, así como los objetivos que se plantea cumplir y los pasos necesarios para alcanzarlos.
- **Capítulo 2. Estado del arte:** Se realiza una contextualización de la fabricación aditiva a nivel mundial, partiendo desde 2015 hasta la actualidad. Analizando empresas civiles y Ejércitos concretos que han implementado ya esta tecnología.
- **Capítulo 3. Desarrollo:** Incluye la parte de investigación y análisis que ha sido necesaria realizar para obtener un resultado de viabilidad completo y adecuado.
- **Capítulo 4. Conclusiones y trabajo futuro:** Parte final del trabajo, donde se recogen todos los resultados obtenidos, así como las conclusiones pertinentes y correspondientes líneas futuras.

---

<sup>3</sup> Destinado en el Bon. Zapadores XII, El Goloso, Guadarrama XII



## Capítulo 2. Estado del arte

### 2.1. Evolución de la impresión 3D en el Ministerio de Defensa

La impresión 3D, ha recorrido un largo camino de investigación y desarrollo para llegar al nivel en el que se encuentra actualmente [1]. En España, la unidad pionera del ejército de tierra en testar una impresora de este tipo fue la agrupación de apoyo logístico 41 (AALOG 41<sup>4</sup>) situada en Zaragoza.

De esta manera en 2015, [3] analizaba los diferentes métodos de fabricación aditiva que existían y los resultados obtenidos con cada método. El estudio concluía que la incorporación de esta tecnología no es inmediata ni trivial, pero a pesar de ello consideraba que hay casos en que las distintas unidades no deberían permitirse el lujo de desestimarla por las evidentes mejoras que implicaría, desde un punto de vista económico, logístico o funcional.

El proyecto de la Campaña Antártica de 2016 integró los resultados de [3] donde se pretendía conseguir una transferencia e inserción de las tecnologías de fabricación aditiva en Defensa. Esta inserción tenía el objetivo de facilitar el reemplazo de instrumentos o piezas que quedasen inoperativos, debido a que resulta complicado mantener un flujo constante de aprovisionamiento de instrumentos que llegan al fin de su vida útil, ya que la Antártida es un lugar de difícil acceso. Como resultado de esta investigación, se obtuvo un funcionamiento adecuado de las piezas creadas y, consiguieron obtener un proceso sistemático, eficiente y eficaz para facilitar el abastecimiento de piezas.

Finalmente, en 2017 se pusieron en práctica todas las técnicas comentadas con anterioridad en las investigaciones de 2015 y 2016 con el fin de corroborar la efectividad de estos procesos desarrollados para la investigación científica de la Antártida.

Para ello, se utilizó una impresora modelo BQ Prusa i3 Hephestos con base larga, la cual solo admite filamentos de materiales plásticos como el PLA (Ácido Poliláctico) y, en algunos casos, el ABS(acrilonitrilo butadieno estireno)[4].

Cabe destacar que este testeo sirvió para obtener información acerca de la posibilidad de implementar esta tecnología en zona de operaciones. En esta prueba obtuvieron un cuantioso “Feedback” de errores y éxitos. Los cuales se relatan a continuación.

Por un lado, se comprobó que esta tecnología permite la creación de piezas de geometrías diversas “in situ” en cuestión de horas y poder realizar modificaciones para dar robustez al diseño, con lo que se puede mejorar los originales e incluso darles funciones extras[4]. Un ejemplo que surgió durante la XXX Campaña Antártica fue la de realizar un diseño de una geometría idéntica a la que tienen los costosos loggers, que monitorizan posición, profundidad y velocidad de los pingüinos, para poder practicar la colocación de este tipo

---

<sup>4</sup> Esta, fue elegida debido a su proximidad geográfica al grupo de ingeniería y metrología avanzada (GIFMA) del instituto de investigación e innovación de Aragón (I3A) de la universidad de Zaragoza, el cual lleva varios años investigando acerca de la fabricación aditiva.

de dispositivos sin riesgo de perder el real. Posteriormente, el equipo de científicos planteó la idea de modificar ligeramente el diseño de tal manera que el logger tuviera una geometría simétrica, lo que facilitaba su colocación[4]. De una forma rápida y económica, se pudieron hacer pruebas para plantear modificaciones en los loggers reales de cara a futuras campañas.



Figura 1. Ejemplo loggers para pingüinos. Usando PLA.

Fuente: [4]

Por otro lado, el principal problema que se presenta al incorporar esta nueva tecnología es la necesidad de disponer de personal cualificado que genere el modelo en 3D para su posterior fabricación. Además, En unos casos, el propio diseño de la pieza hace inviable utilizar este proceso de fabricación, en otros, el material plástico limita su resistencia mecánica y térmica. No obstante, las pruebas piloto previas demostraron que era posible diseñar desde España y fabricar, sin grandes complicaciones, en una unidad situada a cientos de kilómetros, siempre y cuando exista la comunicación necesaria para permitir el intercambio de archivos[4].

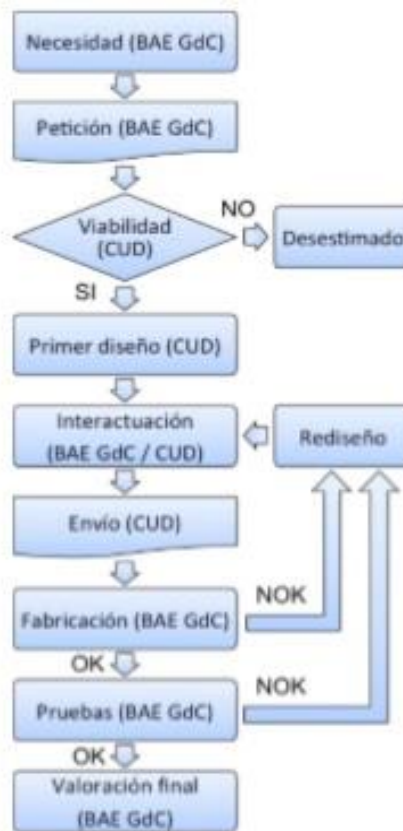


Figura 2. Esquema del protocolo de trabajo entre CUD y BAE GdC.

Fuentes: [4]

Por último, cabe destacar el informe que publicó el Ministerio de Defensa en marzo de 2019 titulado “Fabricación Aditiva”[5], en el cual se analiza minuciosamente el estado de esta tecnología actualmente, que beneficios puede aportar al Ejército, dónde y cuándo se podría implantar, cuánto nos puede costar su uso e incluso que sistemas han sido probados por otros ejércitos. Cabe destacar, de todo lo mencionado, que los escenarios en los que se debe implantar esta tecnología son aquellos donde resultan elevados los costes de transporte y almacenamiento<sup>5</sup>, donde existan dificultades de suministro por parte del fabricante<sup>6</sup>, en aquellos con altos costes de transporte y bajos de almacenamiento<sup>7</sup> y en situaciones de urgencia o complejidad<sup>8</sup>.

Además, de este informe, se obtuvo un análisis económico que resalta los costes que pueden reducirse utilizando fabricación aditiva. Los costes que se reducirían más serían los asociados al mantenimiento y costes de transporte de producto terminado.

<sup>5</sup> Por ejemplo, en los buques logísticos del ET presentes y futuros.

<sup>6</sup> Debido a la obsolescencia, al coste, etc.

<sup>7</sup> En operaciones en TO/ZO (Teatro/Zona de Operaciones), concretamente en las COP (Posición Avanzada de Combate).

<sup>8</sup> BDR (Reparación de daños de combate).

Por otro lado, aparecerían otros costes asociados a la impresora, los cuales son: Costes de equipamiento de la impresora, coste de personal cualificado para su manejo, costes de verificación de los repuestos y otros costes asociados a las tecnologías de prototipado rápido.[5]

Además, se detectaron una serie de capacidades y oportunidades que podrían beneficiar en gran medida al Ejército español, como por ejemplo: Aumento de la autonomía logística, aumento de la disponibilidad operativa, ahorro de costes directos e indirectos, etc.

Como conclusión de este trabajo de investigación, se extrajo que esta tecnología está bien adaptada y puede reactivar cualquier recurso que sea necesario para el cumplimiento de la misión que esté inutilizado por inexistencia de recambio. Además, este tipo de repuestos, aunque no pueda sustituir completamente a la pieza, al menos sirve para mantener el recurso operativo hasta que la unidad sea reabastecida con la pieza original.

## 2.2. La impresión 3D en El Goloso

Actualmente en el acuartelamiento “El Goloso”, tienen operativas cuatro impresoras 3D y se encuentran a cargo de cuatro oficiales del arma de ingenieros. Los operarios de las impresoras son ellos mismos, es decir, para manejar cada impresora solo es necesaria una persona por cada máquina. Se debe resaltar, que han aprendido de manera autónoma y en su tiempo libre. Por tanto, ellos se encargan tanto de diseñar las piezas como de seguir el proceso de impresión.

Un hándicap que podemos mencionar de esta tecnología es la dificultad de diseño de las piezas que se experimenta en las primeras veces, debido a que para hacer una pieza perfecta podría tardarse desde 2 semanas hasta 1 mes. Sin embargo, una vez se adquiere destreza con las herramientas de diseño (SolidWorks y Cura), el tiempo se puede reducir a la mitad. Todas las impresoras, son capaces de producir piezas con materiales plásticos como PLA, PETG (tereftalato de polietileno) Y ABS<sup>9</sup>, entre otros. Una de las diferencias más destacable de estos materiales es el precio, mientras el PLA cuesta 12€/ kg, el PETG cuesta 22,50 €/ kg y el ABS 16€/kg.

De las impresoras de la unidad, la mejor es la última adquirida, modelo CR-10 (Figura 3) debido a que es la más moderna, la que mejor características tiene y la que mayor superficie de impresión posee.

---

<sup>9</sup> Estos tres materiales, a pesar de ser plásticos, tienen características diferentes. El PLA, es el material más usado debido a: su facilidad de impresión y excelente adherencia entre capas; resistencia a la humedad y a la grasa y posee una alta resistencia a la tracción. El PET, es un polímero de condensación termoplástico que posee las siguientes características: barrera contra gases, bajo costo, muy resistente al desgaste, a los productos químicos, a la rotura y al fuego. Se suele utilizar para envases. El ABS, es un derivado de combustibles fósiles ideal para la producción de objetos que deban ser sometidos a esfuerzos mecánicos y tiene buena estabilidad dimensional. Tiene una vida útil más larga que la del PLA y es más resistente al impacto. Además, es insoluble en el agua, por lo que no la contamina.

Con estas impresoras fabrican una gran variedad de objetos, tales como: cargas explosivas, las cuales usan para instrucción; cargas EOD (Esplosive Ordnance Disposal); trípodes para fusil HK y hasta un Drone con material ABS. Cabe destacar que la unidad solo nos proporcionó los ahorros que se producían con respecto a los trípodes HK y al Drone, los cuales son los siguientes. Se estima que se ahorran unos 200€ con la fabricación del trípode de HK con impresión 3D. Además, ganan unos 2/3 meses de tiempo. Sin duda, la creación del Drone con una impresora 3D hizo que se redujeran enormemente los costes, de manera que este dispositivo paso de costar 300.000€ a aproximadamente 100€ y su fabricación duró alrededor de 24 horas. Bien es cierto que la fase de diseño de este Drone duró 2 meses. Cabe destacar que estas impresoras han sido compradas con el dinero particular de un grupo de ingenieros de esta unidad, no son impresoras con dotación presupuestaria.



Figura 3. Impresora CR-10. Modelo parecido al del Goloso.

Fuente: [11].

### 2.3. Fabricación aditiva y el ejército estadounidense

Antes de comenzar, es necesario destacar que se ha decidido elegir al Ejército estadounidense debido a que es uno de los ejércitos más competentes del mundo y además, se encuentra más avanzado que el resto de los ejércitos en la investigación y desarrollo de la fabricación aditiva [6].

En los últimos años el Ejército estadounidense ha estado probando estos equipos de impresión 3D, con el fin de aumentar, más aún si cabe, la operatividad de su contingente destinando una gran parte del presupuesto de Defensa en esta nueva tecnología [7]. En concreto en 2018, el U.S. ARMY había destinado una parte de su presupuesto en defensa para el desarrollo e implementación de esta tecnología en Fort Leonard Wood en

Missouri. Mike McCarthy<sup>10</sup>, jefe de planes y operaciones del ejército, afirmó que usando este método se había reducido en un 40% el tiempo que existía desde que aparecía la concepción de una nueva pieza hasta que esta se creaba.

Así mismo, comparándolo con los métodos tradicionales, había conseguido disminuir significativamente los costes[7]. Además, el ejército comenzó a usar la impresión 3D en su programa ACES<sup>11</sup> (Figura 4), lo cual fue un rotundo éxito debido a que se consiguió crear un barracón para 20 hombres en 21.5 horas. Megan Kreiger<sup>12</sup>, concluyó que este sistema trabajó correctamente bajo múltiples condiciones ambientales de manera eficaz. Sin embargo, no describen en el artículo cuanto tiempo dedicaron a diseñar el barracón. Por otro lado, implementaron un escáner 3D (Figura 5) capaz de escanear escenas del crimen en 40 minutos, incluyendo agujeros de bala, sangre, etc. Con esta tecnología FARO Focus Laser Scanners se redujo en gran medida el error humano.



Figura 4. Impresora usada en el programa ACES.

Fuentes: [6]

---

<sup>10</sup> Actual diputado del comandante general del Centro de Excelencia de Apoyo a la Maniobra de Estados Unidos.

<sup>11</sup> Automated Construction of Expeditionary Structures

<sup>12</sup> Oficial del cuerpo de ingenieros del ejército de tierra estadounidense. Destinado en Illinois.



Figura 5. FARO Focus Laser Scanners

Fuente: [6]

Así mismo, en 2019, [8] indica que el objetivo es reducir el equipo desplegado con las tropas, mínimo e indispensable<sup>13</sup> y una vez en el lugar, se establezca una unidad móvil de impresión 3D capaz de producir el resto de recursos necesarios. Los inconvenientes que se extraen es que se necesita personal altamente cualificado para operar estas máquinas, por lo que se requieren soldados motivados para aprender estas técnicas cuanto antes. Además, el ejército no solo está aprendiendo a usar esta tecnología sino que está tratando de crear nuevos materiales para conseguir piezas con mejores propiedades mecánicas, así como herramientas para la impresión aditiva.

Por otro lado, los científicos que están desarrollando este proyecto quieren que las piezas cumplan a la perfección la función para la que han sido creadas, no quieren probarlas en el campo de instrucción y que fallen. Debido a que, en ocasiones, las piezas que reemplazan forman parte de un sistema de armas, por lo que una deficiencia en la pieza podría ocasionar un accidente y producir un gran número de víctimas.

El 21 de febrero de 2019 se consiguió producir una pieza metálica (Figura 7) imprescindible para los vehículos tipo MRAP, lo cual supuso un gran avance para el ejército estadounidense en cuanto al desarrollo de la fabricación aditiva se refiere [9]. Estos, consiguieron imprimir 284 piezas del tipo mencionado y con ello ganaron 1472 días de operatividad de los vehículos, debido a que ese era el tiempo que iba a tardar el grupo logístico en proporcionarle los repuestos. Esto se debía a que cada vehículo necesitaba 20 piezas de este tipo. Así mismo, el tiempo de espera era tan extenso como consecuencia de estar desplegados en Corea. En el artículo, no aparece el precio de la pieza original, simplemente destacan que cada pieza impresa les costaba \$2.50. Por ello, de este solo se puede extraer que el tiempo de espera se redujo notablemente. Estas piezas eran importantes puesto que si el vehículo no contaba con ellas, la seguridad de los integrantes podría haber corrido peligro. Por tanto, se exige certificar y estandarizar todas sus piezas y materiales para asegurar completamente su uso, debido a que es crucial para la seguridad de los soldados.

<sup>13</sup> Es decir, solo con el equipo personal. Mochila, anti-fragmentos, fusil, casco, etc.



Por otro lado, estos trabajos destacan la importancia de mantener la ciberseguridad debido a que no desean que sus adversarios consigan acceder a sus archivos y descarguen los diseños de las piezas o las modifiquen para que estas fallen.



Figura 6. Tapón usado para proteger el sistema de extinción de incendios de los vehículos tipo MRAP.

Fuente: [8]

Además de avances en las impresoras y piezas imprimidas, este mismo año se ha conseguido crear un material un 50% más duro y resistente que los existentes disponibles [10]. Este material en cuestión es AF96 (Figura 7), un acero desarrollado por el U.S. Air Force para su implementación en bunkers. Este material fue convertido en “polvo” para poder ser usado con Powder Bed Fusion Technology<sup>14</sup>. Los investigadores han usado la impresión 3D para fabricar piezas usando este material alcanzando grandes resultados. Cabe destacar, que este material solo se puede usar en este tipo de impresoras debido a que es imposible usarlo para producir piezas con los métodos tradicionales de fabricación.



Figura 7. Pieza fabricada con AF96

Fuente: [10]

Por todo lo mencionado anteriormente, se puede concluir que de una parte la aplicación de esta tecnología en el Ejército puede ser de mucha utilidad. De otra, que es un campo aun en desarrollo y las posibilidades de incorporación pueden aumentar con los avances de la misma. Por tanto, en este TFG se pretende realizar una aportación para el caso del ejército español, analizando su posibilidad de utilizar la impresión aditiva para repuestos de los vehículos tipo VAMTAC

<sup>14</sup> Tecnologías de fusión por lecho de polvo. Técnica de fabricación aditiva basada en la deposición de sucesivas capas de material en polvo, para fundirlas con una fuente de energía.



## Capítulo 3. Desarrollo

La Bandera “Ortiz de Zárate” III de paracaidistas es una unidad de infantería ligera aerotransportable de entidad batallón, recientemente reorganizada e integrada en el Regimiento de Infantería “Zaragoza” N.º 5. Se encuentra situada en Javalí Nuevo (Murcia). Este batallón cuenta con aproximadamente 320 personas, repartidas 200 entre la 14<sup>15</sup> y 15 Cía.<sup>16</sup> y 120 entre las tres de fusiles (11,12 y 13 Cía.). Las compañías de fusiles cuentan con 2 vehículos ligeros<sup>17</sup> y 9 BMRs<sup>18</sup> por compañía. La 14 Cía. tiene 4 vehículos ligeros y entre 10 y 12 vehículos tipo VAMTAC. Por último, la 15 Cía. dispone de 5 camiones y 6 ligeros. En total, aproximadamente está compuesta por 61 vehículos. El número de vehículos tipo VAMTAC es reducido, pero se espera en 2020 la llegada a la unidad de una nueva flota de este tipo de vehículos, de la cual se desconoce la cantidad.

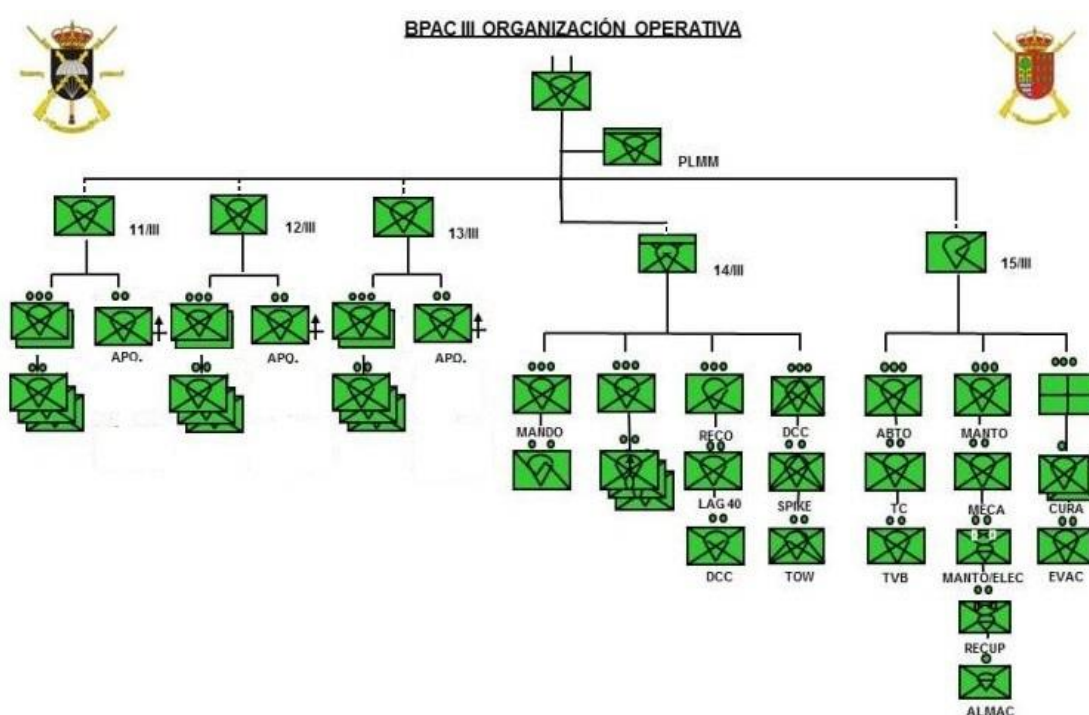


Figura 8. Organigrama de la BPAC III

<sup>15</sup> Compañía de Mando y Apoyo

<sup>16</sup> Compañía de Servicios

<sup>17</sup> Aníbal

<sup>18</sup> Blindado Medio sobre Ruedas.

### 3.1. Capacidades y carencias de la unidad

Del número total de vehículos, 12 son del tipo VAMTAC y de estos, de media el 40% suele estar inoperativo debido a la inexistencia de repuestos en el 2º escalón.

Esto se debe, principalmente a la falta de presupuesto, a la cantidad de los órdenes de compra que se llevan a cabo y debido al gran atraso que sufre el sistema de adquisición de la AALOG-11<sup>19</sup> por la extensa acumulación que existe de pedidos, ya que esta AALOG tiene que reabastecer a 23 unidades. Este atraso se debía a lo siguiente. Primero, el orden de compra tardaba alrededor de 2/3 semanas en ser aceptado<sup>20</sup> debido a la saturación del sistema por la acumulación de solicitudes. Y Segundo, una vez aceptado el pedido, tardaba en ser recepcionado de 3 a 6 meses<sup>21</sup>, con todo lo que ello supone: inoperatividad de los vehículos, incapacidad de seguir con el plan de instrucción y adiestramiento, etc.

Por otro lado, cabe destacar que en el horario semanal de la unidad, un día siempre estaba dedicado a Mantenimiento de BMR<sup>22</sup>, debido a que la mayoría de ellos eran muy antiguos y por ello, sufrían más desgaste de lo normal. Por tanto, en muchas ocasiones, la única instrucción que podía hacerse con los vehículos era de manera estática, aprendiendo tareas tales como: montaje y desmontaje de la Ametralladora Pesada, prácticas con medios de transmisiones, anclaje y desanclaje de la pesada en la torre, etc. Raras veces hacían instrucción con los vehículos en el campo, debido a esa inoperatividad. Opinión de los expertos

En este trabajo, ha sido de especial relevancia la opinión de los expertos<sup>23</sup> a la hora de concretar exactamente el número de impresoras de las que debería disponer el segundo escalón de mantenimiento para obtener el máximo rendimiento de esta tecnología. Así mismo, ha sido necesario realizar un análisis de los repuestos de los vehículos tipo VAMTAC que necesita el escalón para así averiguar cuáles son aquellos que quedan inoperativos asiduamente, y por tanto, los que necesitan mayor reposición. Como punto de partida, se realizó una entrevista al Sargento Primero Guillén encuadrado en el segundo escalón de mantenimiento de la unidad. En primer lugar, se obtuvo información sobre las piezas que tenían menos vida útil y que era posible producirlas con una impresora 3D, como por ejemplo: depósitos de líquidos del vehículo, aceite, agua, refrigerante, todos ellos fabricados con material plástico y tubos rígidos intercooler de material metálico. En segundo lugar, se confeccionó una encuesta que debía ser respondida por los

<sup>19</sup> Agrupación de apoyo logístico vinculada con esta unidad. Y por tanto, se encarga de reabastecerla.

<sup>20</sup> La AALOG recibe los pedidos y los acepta en función del presupuesto del que se disponga y de su disponibilidad en el stock

<sup>21</sup> Se puede deber a indisponibilidad del repuesto en stock, a problemas presupuestarios o a la acumulación de pedidos

<sup>22</sup> Mantener no significa reparar. Lo catalogan de esa manera en la unidad. En ese día solo se realizaban las actividades mencionadas en ese mismo párrafo.

<sup>23</sup> Estos expertos han sido dos: El Cap. Deleyto del arma de ingenieros del acuartelamiento El Goloso y Alfonso Ruiz López, técnico especialista de informática en el Hospital de Hellín.

componentes del segundo escalón de mantenimiento. Para ella, se eligió una muestra de 21 personas con al menos 2 años de antigüedad en el escalón y además contaban con conocimientos de esta tecnología, debido a que habían leído diversos artículos sobre la misma. Para la selección de este grupo, cabe destacar que el empleo era algo irrelevante, debido a que los requisitos que debían cumplir eran los dos mencionados anteriormente. De esta encuesta, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Prácticamente, los 21 encuestados consideran que la impresión aditiva reduciría notablemente los tiempos de espera. Así mismo, el 81% opina que se puede producir una reducción de los costes de adquisición gracias a usar la fabricación aditiva. De los resultados más importantes que se extrajeron de la encuesta, cabe destacar la confianza que tienen los miembros del segundo escalón en una impresora 3D como medio de reabastecimiento de repuestos. Esto indicaría que en un futuro, si se implanta esta tecnología, los componentes del segundo escalón de mantenimiento van a colaborar totalmente para aprender a usar este medio y, lo que es más importante, sacarle el máximo partido para conseguir que la unidad sea lo más operativa posible.

Por otro lado, gracias a las entrevistas con los dos expertos en fabricación aditiva, se llegó a la conclusión de que la mejor opción para la bandera sería implantar dos impresoras, debido a la entidad de la unidad y al tipo de repuestos que se va a necesitar fabricar, como ya hemos comentado anteriormente. Una de ellas, sería del tipo FDM (Modelado por Deposición Fundida) con capacidad para fabricar piezas con materiales plásticos, tales como: PLA y PETG. La segunda, debería ser una impresora del tipo SLS (Sinterizado Selectivo por Láser) debido a que este dispositivo es capaz de imprimir piezas metálicas. De esa manera, con estas dos impresoras, la unidad sería capaz de reabastecerse de manera autónoma de la mayoría de los repuestos que necesitan para mantener operativos todos, o la mayor parte, de los vehículos tipo VAMTAC. Sin embargo, cabe destacar que a pesar de que una impresora del primer tipo puede costar entre 100€ y 600€, las del segundo tipo se pueden encontrar desde 1000€ hasta 10.000€ dependiendo de la calidad que deseemos obtener en las piezas. Es por ello por lo que no se puede confirmar a primera vista que el Ministerio de Defensa o más concretamente el presupuesto que tiene la Bandera sea suficiente para adquirir una impresora del segundo tipo. Por ello, ha sido necesario realizar un análisis de viabilidad económica.

## 3.2. Análisis de riesgos

Bien es cierto que en cualquier proceso de implementación de una nueva tecnología cabe la posibilidad de que aparezcan una serie de riesgos, los cuales debemos detectar, analizar y controlar.

Para conseguir detectar el mayor número de riesgos que pueden aparecer a lo largo del proyecto se pueden usar diferentes herramientas. La elegida en esta ocasión es el Brain-Storming<sup>24</sup>, la cual se utilizó con los expertos mencionados anteriormente. Esta, se

---

<sup>24</sup> “Lluvia de ideas”. Herramienta usada para poner en común ideas con el fin de llegar a una conclusión u obtener diferentes puntos de vista.

seleccionó como consecuencia de los exitosos resultados que se han obtenido en diversas ocasiones por usar este recurso.

Los riesgos para tener en cuenta han sido los siguientes: Fallo mecánico en la impresora, escasa resistencia a la fatiga de la pieza impresa, fallo de impresión y errores en el diseño de la pieza. Como podemos observar en la matriz de riesgos, el riesgo más grave ha sido el segundo, teniendo en cuenta que de todos ellos, este es el más probable. Esto ocurre cuando el material que se elige no cumple con las especificaciones mecánicas necesarias, con lo cual la pieza quedaría inservible y el vehículo volvería a estar inoperativo. Una medida que se puede aplicar para evitar ese riesgo sería hacer un análisis de los materiales a emplear en la producción según el tipo de la pieza. Así mismo, para evitar fallos mecánicos en la impresora y fallos en la impresión se debe realizar por un lado un buen mantenimiento de la impresora cada vez que imprima una pieza y por el otro calibrarla antes de imprimir. Además para que no se produzca un fallo en el diseño de la pieza se deberán comprobar exhaustivamente las medidas de esta antes de realizar la impresión. Cabe destacar que tres de los riesgos tienen un impacto alto, debido a que si se produce cualquiera de ellos la pieza habría que desecharla. Sin embargo, que se produzcan errores en el diseño de la pieza es algo que tiene un impacto medio porque la pieza se puede rediseñar cuantas veces se quiera. Así mismo, se ha considerado que la probabilidad de todos ellos, salvo la del segundo, es baja ya que si se realiza un buen mantenimiento de la impresora, esos riesgos deberían desaparecer o al menos mitigarse. Para la realización de esta tabla fue muy necesaria la opinión de los expertos descritos anteriormente, es decir, el Capitán Deleyto, el técnico especialista Alfonso López Ruiz, los cuales llevan al menos 3 años trabajando con esta tecnología, y el Sargento 1º Guillén.

Matriz riesgos proyecto					Estadística	
Probabilidad	3	0	0	0	Clase riesgo	Nr
	2	0	0	1	Alto (rojo)	0
	1	0	1	2	Alto - medio (naranja)	1
		Low	Medium	High	Medio (amarillo)	3
		Impacto			Bajo (verde)	0
					Total:	4

Figura 9. Matriz de Riesgos.

En el Anexo B se puede observar en detalle cuales son los riesgos detectados, su probabilidad de aparición, el impacto que pueden tener, el efecto que es capaz de producir y las medidas a adoptar para reducir y controlar los riesgos.

### 3.3. Análisis DAFO

El propósito de esta herramienta es encontrar aspectos favorables (Fortalezas y Oportunidades), y sobre todo aspectos desfavorables (Debilidades y Amenazas) que tenemos que tratar de reforzar para que esta tecnología se adapte correctamente a la unidad. Como aspectos favorables internos a destacar podemos encontrar los siguientes: una reducción de los costes de adquisición de las piezas, debido a que los materiales con los que se fabrican son más baratos; se pueden utilizar materiales más resistentes como el polvo de titanio o el ABS para aumentar la vida útil de los repuestos; se reducen los tiempos de espera en la obtención de la pieza, debido a que se fabrica “in situ” en la unidad, por lo que eliminados el tiempo de transporte. En cuanto a aspectos desfavorables internos se pueden encontrar los siguientes: puede existir incapacidad de diseñar la pieza por ser esta demasiado compleja; no correspondan las características mecánicas de las piezas con los repuestos originales y por tanto se produzca una rotura de estas por no resistir a los esfuerzos. Como aspectos favorables externos se pueden destacar los siguientes: se podría utilizar la impresora para producir otra serie de repuestos que se necesiten en la unidad, en el caso de no necesitar fabricar repuestos para los vehículos VAMTAC y se pueden fabricar piezas para otras unidades cercanas. Por ultimo como aspectos desfavorables externos, podemos encontrar los siguientes: puede producirse una centralización del proceso de producción por parte de la AALOG-11 y que la misma adquiera impresoras 3D para reabastecer a todas las unidades dependientes de la ella; además podría aparecer una tecnología innovadora que provocase que la impresión 3D quedase obsoleta. Esto último, resulta bastante improbable, debido a los grandes éxitos que se están obteniendo, pero no es algo imposible.



Figura 10. Análisis DAFO.

### 3.4. Análisis de viabilidad

Se analizará la viabilidad desde tres puntos de vista. Desde el punto de vista técnico, económico y social, debido a que ambos campos son necesarios tener en cuenta para realizar un estudio de viabilidad adecuado.

#### 3.4.1. Viabilidad técnica

La viabilidad técnica es la condición que hace posible el funcionamiento del sistema y debe permitir demostrar que es técnicamente posible llevar adelante el proyecto con la tecnología, equipamiento y obras existentes. De esta manera, podemos concluir que la tecnología no es un limitante en esta ocasión, debido a que los sistemas de impresión 3D están desarrollándose de forma exponencial.

Así mismo, es necesario destacar que este sector está introduciendo importantes avances e innovaciones en muy poco tiempo, con ello consiguen que cada vez se puedan fabricar piezas más grandes[11] e incluso más resistentes [10]que las originales. Por ello, la implementación de esta tecnología puede beneficiar en gran medida al Ministerio de Defensa, el cual necesita piezas que tengan una larga vida útil y gran resistencia a la fatiga para así mantener, durante el máximo tiempo posible, los vehículos operativos.

### 3.4.2. Viabilidad económica

En primer lugar, se realizó un estudio de la cantidad de repuestos que el segundo escalón de mantenimiento pidió entre el 1 de septiembre de 2018 y el 1 de septiembre de 2019. Por motivos de confidencialidad, no se ha podido incorporar en el trabajo los órdenes de compra, pero aproximadamente se pidieron en el último año 500 repuestos de vehículos<sup>25</sup>. De manera que se hizo un análisis de los repuestos para averiguar cuales se podrían imprimir con una impresora 3D, debido a que esos son los realmente necesarios para el desarrollo de este proyecto. De todos los repuestos solicitados, el 30% de los mismos (150)<sup>26</sup> podrían obtenerse mediante fabricación aditiva. Esto se debe a que los otros 350 repuestos son muy difíciles de diseñar y/o están fabricados de otros materiales.

En segundo lugar, se ha realizado una minuciosa investigación del sector de las impresoras 3D para averiguar cuáles son los costes más relevantes para tener en cuenta a la hora de imprimir una pieza. De esta manera, se hizo una comparación del coste unitario que se genera al fabricar un repuesto con esta nueva tecnología frente a la obtención de ese mismo repuesto con el proceso tradicional.

Una vez finalizado el estudio, se obtuvieron los siguientes costes:

- **Coste de preparación de la impresión:** La persona designada del segundo escalón de mantenimiento, encargada del dispositivo, debe diseñar la pieza<sup>27</sup>. Estos diseñadores pueden ser los tenientes de la unidad debido a que todos ellos tienen formación en diseño de piezas con el programa SolidWorks. Estos deberán revisarla para evitar que haya errores en la misma, introducir todos los parámetros necesarios para que la pieza cumpla con las características necesarias y se pueda imprimir<sup>28</sup>, preparar la superficie de impresión<sup>29</sup> y por último, revisar que las primeras capas se están imprimiendo correctamente. Para ello simplemente es necesario vigilar el proceso en la primera capa y en la última. Todo ello, es necesario tenerlo en cuenta a la hora de calcular el precio de la pieza debido a que consume mucho tiempo del operador, tiempo que se usa para realizar tareas que no aportan valor a la unidad.
- **Coste postfabricación de la pieza:** Estos costes son los que aparecen una vez impresa la pieza. Normalmente, es necesario despegar la pieza de la superficie de impresión y borrar las marcas que hayan podido quedar. Además, será necesario limar la pieza para eliminar las imperfecciones y trozos de sobrante que hayan quedado para conseguir el mejor acabado posible.

<sup>25</sup> Esta información fue suministrada por el Sargento 1º Guillén.

<sup>26</sup> 102 de tipo plástico y 48 de tipo metálico.

<sup>27</sup> Con aplicaciones de diseño, tales como: SolidWorks.

<sup>28</sup> Es necesario para ello la aplicación Cura.

<sup>29</sup> Se debe rociar la cama con laca para que la pieza quede fija en la misma y no se mueva mientras se está imprimiendo.

- **Costes por hora de impresión:** Los costes por hora de impresión son los más importantes para tener en cuenta debido a que estos nos muestran realmente el precio de imprimir en 3D. Dentro de estos costes cabe destacar los siguientes:
  - *Costes de amortización del equipo:* una manera de pensar en la amortización consiste en dividir el coste total del equipo entre todas las piezas que vamos a fabricar con ella para así amortizarla con el paso del tiempo.
  - *Coste de electricidad:* Es necesario tenerlo en cuenta para saber lo que nos gastamos en electricidad cada hora, sabiendo que el kWh cuesta 0.15€. De manera que si esta pieza consume 300W, su precio sería de 5 céntimos de euro por hora.
- **Coste del material de impresión:** Normalmente, el coste del material va a ser bajo, debido a que la mayoría de las piezas están huecas y por ello no necesitan demasiado filamento para fabricarse. Este coste aumentaría en el caso de hacer piezas robustas, como es el caso, usando materiales más resistentes (especiales)<sup>30</sup> o incluso por hacer que las piezas no sean huecas. De todas maneras, los precios de los filamentos suelen rondar entre 7€ y 30€, dependiendo del grosor que se desee y el material del filamento que se quiera emplear. Así mismo, con cada filamento se pueden producir varias piezas.
- **Coste de mantenimiento:** Estos tipos de dispositivos necesitan un gran mantenimiento debido a que muchas de las partes tienen que estar adecuadamente lubricadas para poder funcionar correctamente. Además puede ser requerida una sustitución de la superficie de impresión, del extrusor o de alguna parte que se rompa de manera inesperada, debido al desgaste o por defecto de fábrica. Cabe destacar que este mantenimiento puede ser realizado por la persona encargada de la impresora o por la empresa fabricante. Todo ello depende de la garantía que nos ofrezca la empresa al comprarla.
- **Coste de fallos:** Este coste no puede obviarse debido a que hasta la mejor impresora, comete fallos. Esto puede deberse debido a que se produzca un fallo de impresión, haya atascos de filamento, que se nos agote el mismo mientras la impresión se esté llevando a cabo, etc.

Así mismo, al imprimir la pieza y verla físicamente nos podemos dar cuenta de que exista alguna imperfección, ya sea por haber introducido mal algún parámetro o alguna medida.

---

<sup>30</sup> PETG, Polvo de metal.



Como podemos observar hay una gran cantidad de costes para tener en cuenta, pero lo relevante sería conocer cómo se repercuten estos costes en cada pieza así producida. En el trabajo, se han realizado un ejercicio exploratorio con dos piezas (tabla de costes de la Figura 11) para conocer cuál sería el coste final de una pieza producida con fabricación aditiva y así compararla con el coste de la adquisición a través de la petición a la AALOG.

Para ello se han elegido dos repuestos a imprimir a modo de ejemplo. En un caso, sería un repuesto de material plástico y en otro de material metálico. En el caso del primero, se ha elegido los depósitos de líquido pues suelen fallar por estar sometidos a elevadas temperaturas. Así mismo, se eligió el tubo rígido intercooler, de material metálico. Los dos repuestos utilizados como ejemplo porque son capaces de ser impresos con esta tecnología. Además estos dos casos permiten observar con claridad la magnitud de los costes que estas piezas tendrían si se fabricasen usando esta tecnología. Por último, es necesario destacar que estos repuestos son el tipo de repuestos que se suelen pedir más frecuentemente en la unidad.<sup>31</sup>

La primera de las tablas recoge los cálculos para la pieza de material plástico. Para esta tabla Excel se han tenido en cuenta las siguientes singularidades: Se ha supuesto que la impresora fuese una CR-10, que aproximadamente vale el precio indicado. Se ha elegido esta impresora debido a que es la última que han implementado en El Goloso y la que mejor prestación tiene, las cuales se han comentado anteriormente; Las horas de trabajo por día como máximo podrían ser 6<sup>32</sup>, debido a que existe una hora de formación física y otra hora de aseo. Cabe destacar que la impresora estaría activa en todo momento debido a que ese tiempo es el que se va a tardar aproximadamente en imprimir una pieza.<sup>33</sup>

Por otro lado, se supuso que las impresoras estarían 250 días<sup>34</sup> activas, acorde con el horario laboral. Sin embargo, como hemos mencionado anteriormente, solo se pueden imprimir el 30% de los 500 repuestos estimados que se necesitaron el año anterior. De estos la información proporcionada estima que unos 102 se corresponderían con repuestos de material plástico y 48 metálicos. De manera que atendiendo al hecho de que los repuestos plásticos se imprimen en un día laborable, la impresora CR-10 solo estaría activada 102 días al año. De forma similar pasaría con la impresora metálica, Prusa P6, que estaría activa 48 días. El resto del tiempo se podrían emplear las impresoras para imprimir otros repuestos que sean necesarios para la unidad, tales como: repuestos para

---

<sup>31</sup> Según la información aportada por el Sgto. 1º Guillén

<sup>32</sup> Alfonso López Ruiz nos afirmó que normalmente, una pieza de tamaño medio y sin grandes detalles es posible fabricarla en menos de 5 horas no tardando más de 24 horas en hacer una pieza compleja o con una gran variedad de detalles<sup>32</sup>

<sup>33</sup> Esta conclusión, se extrajo como fruto de la experiencia de Alfonso López Ruiz y del Capitán D. Javier Deleyto Sánchez.

<sup>34</sup> Días de fin de semana (2) x Fines de semana de un mes (4) x 12 meses = 96. 365-96= 269. Se elige 250 por si esos 19 días restantes no se puede usar la impresora por ser día libre/festivo o se necesita un mantenimiento exhaustivo.

vehículos tipo BMR, partes del fusil HK, o incluso, proporcionarles a otras unidades cercanas la posibilidad de imprimir sus propios repuestos con nuestras impresoras.

El coste por hora del operador es lo equivalente al sueldo de un teniente por hora. Se ha supuesto que se pondría un teniente al cargo de la impresora, porque todos ellos tienen formación en programas de diseño, gracias a la asignatura de Expresión Gráfica, la cual se estudia en el Grado. Es necesario destacar que los tenientes no serán los operarios de la máquina por siempre, si no que estos se encargaran de instruir a personas específicas del segundo escalón de mantenimiento con el fin de ser reemplazados esos tenientes para que no sufran deficiencias de instrucción y adiestramiento sus respectivas secciones. De todas maneras, se ha teniendo en cuenta sus respectivos sueldos en el coste de operario porque al principio, como ya he mencionado, se encargarán los tenientes. Se debe añadir el coste de amortización ya que se tendría que recuperar el coste de la impresora 3D en un plazo inferior a la vida esperada de la misma. Se podría amortizar por tiempo fijo o por horas de uso. Un plazo razonable por tiempo para una impresora con un uso medio (6h/día) sería de 1 a tres años.[12]. Cabe destacar que, no existe un máximo número de piezas que pueda fabricar una impresora antes de tener que reemplazar alguna pieza de esta, sino que depende del mantenimiento que se le realice. Lo único que siempre es necesario sustituir es el filamento<sup>35</sup> cuando esté a punto de agotarse. Además, es necesario resaltar que el uso de un tipo u otro de filamentos de material plástico, no repercute en el mantenimiento de la impresora de forma relevante.

El coste de formación no se incluye, debido a que ya existe personal en la unidad con amplios conocimientos en SolidWorks y Cura. El coste por licencia de SolidWorks equivale a 2.000€ aproximadamente, dependiendo del convenio que establezca SolidWorks con el Ministerio de Defensa. La licencia de la aplicación Cura, es gratuita. Este precio de la licencia se obtuvo mediante la solicitud de un presupuesto a la página oficial, habiéndoles explicado el objetivo de este. El precio del ordenador rondaría los 800€, eligiendo un Lenovo ThinkStation P330. Se elige este ordenador debido a que es el que tienen implementado en El Goloso y para este trabajo resulta bastante adecuado. Ambos costes son de pago único y están incluidos en el Coste de amortización<sup>36</sup> de la tabla. El coste de fallos<sup>37</sup> hace referencia a este modelo de impresora, la cual es posible que cometa un 10% de fallos. El coste del operario se ha calculado sabiendo que un teniente puede cobrar cerca de 2500€ al mes y con ese dato se han hecho las correspondientes operaciones para hallar cuánto cobra un teniente por hora. Teniendo en cuenta que se trabaja 6h al día durante 5 días a la semana y 4 semanas al mes durante 12 meses.

<sup>35</sup>Nombre que recibe el material usado para imprimir, debido a que tiene la forma de un cable.

<sup>36</sup>Coste de amortización = (Coste ordenador+ coste licencia SolidWorks+ coste de impresora) / (tiempo de amortización\*días activa al año\*horas por día)

<sup>37</sup>Coste de fallos = (costes de material+ coste de operario+ coste de amortización+ coste de fallos) x Tasa de fallos. Un fallo implica volver a imprimir la pieza

De esta manera hemos obtenido un precio de 62,47€, por pieza<sup>38</sup>. Es preciso destacar que, como ya se ha comentado anteriormente, el precio de esta pieza variará en función del tipo de material plástico que se decida utilizar.

Frente al precio de esa misma pieza, adquirida de manera tradicional (Figura 13) se puede afirmar que aumentan considerablemente los costes. Sin embargo, si la impresora se utilizase para imprimir otros repuestos necesarios para la unidad o incluso imprimir repuestos similares para otras unidades, se podría reducir el coste de amortización para estas piezas y conseguirse un ahorro en las unidades así producidas.

Así mismo, se ha supuesto que su tiempo de fabricación como máximo será de 6 horas debido a su tamaño, frente a los 2/3 meses que esa pieza tardará en ser repuesta de la forma convencional. Es necesario resaltar, que los primeros diseños de la pieza podrían tardar más tiempo en conseguirse, pero que una vez se haya conseguido la destreza adecuada con la herramienta, estos tiempos se reducirán hasta el tiempo de preparación y fabricación estimado. Esta es sin duda la gran ventaja de poder utilizar la impresión aditiva, la reducción del tiempo de espera en recibir los repuestos que podría mejorar de forma significativa la operatividad de la unidad.

Datos del modelo		Coste de fabricación de piezas impresas	
Coste plástico [€/kg]	15	Masa de la pieza [kg]	0,5
		Tiempo impresión [h]	6
Coste luz [€/kWh]	0,15		
Consumo medio [kW]	0,50		
Coste por hora de luz [€/h]	0,075		
Coste ordenador	800		
Coste licencia SolidWorks	2000	Coste material	
Coste de impresora (€)	550	- Plástico	7,50 €
Tiempo amortización [años]	1	- Electricidad	0,45 €
Días activa al año	102	Coste operario	
Horas por día [h]	6	- Preparación	8,00 €
Coste de amortización [€/h]	5,473856209	- Postproducción	8,00 €
Tasa de fallos	10%	Coste amortización	32,84 €
Coste por hora del operador [€/h]	16	Coste fallos	5,68 €
Tiempo preparación [h]	0,5		
Tiempo postproducción [h]	0,5	Coste pieza	62,47 €

Figura 11. Ejemplo del coste de un Depósito de agua del lavaparabrisas con impresora 3D.

Fuente: Elaboración propia

<sup>38</sup>Coste de pieza= costes de material+ coste de operario+ coste de amortización+ coste de fallos

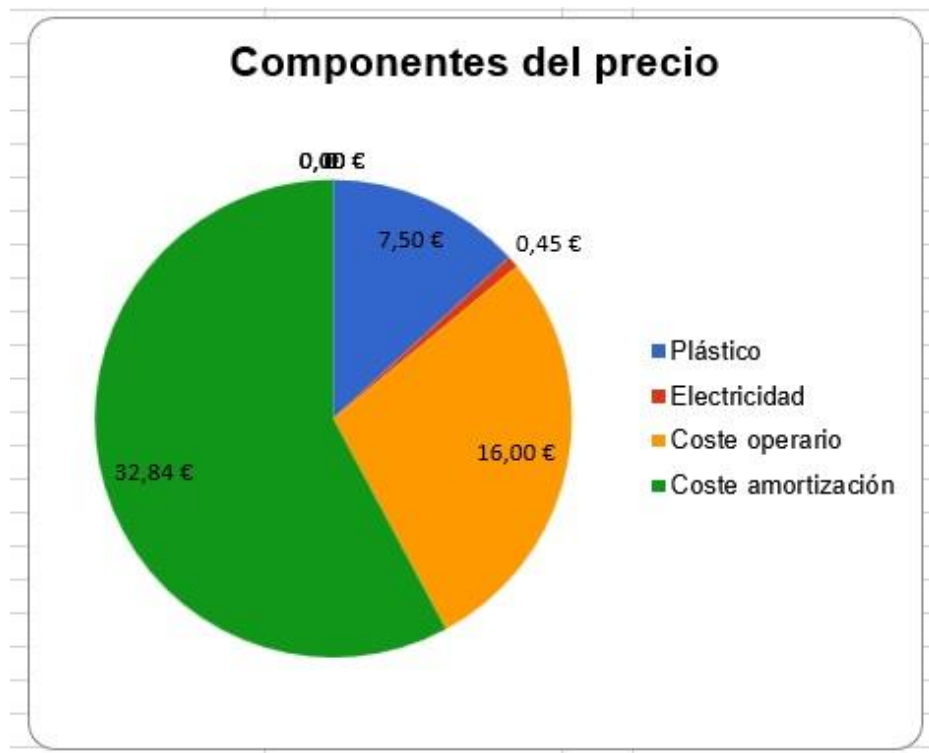


Figura 12. Gráfico de la distribución de costes de la pieza de plástico.

Fuente: Elaboración propia

COBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE DEFENSA Sigle Ejército de Tierra

v.2.1.4r62 Miércoles 25-09-2019 12:18

Abastecimiento Mantenimiento Transporte Adquisiciones Planificación Datos Básicos Inge

Escritorio SIGLE Consultar Datos Artículo X

> Datos Básicos > Artículos y Referencias > Artículos > Buscar Artículos > Consultar Datos Artículo

> CONSULTAR DATOS ARTÍCULO

Identificativos Generales Funcionales Reducida CUF Art. Referencias Art. Proveedores Art.

Datos Generales

NIN 331059279 NOC/NPC 2540331059279 **DEPOSITO LAVAPARABRISAS URO**

Grado Identificación 2 POR REFERENCIA Denominación Reglamentaria

Cabecera 030000 REP. VEHICULO RUEDA Y REMOLQUE CF NOCs Frase

Clase/Subclase 0901 C.IX.a PIEZAS DE REPUESTO Fam. Apoyo 008102 REP. VEHICULO Y MAT. ESPECIFICO PCMV

Tipo K RESTO DE ARTICULOS EN SIGLE Tipo FACE

Tipo Recurso Voz Colectiva

Abastecimiento

Precio Estándar	Regulado	Canjeable	Consumible	Peticionable	Control Unitario	Cód. Control U
<b>43,89</b>	N	N	N	S	N	

Figura 13. Precio de la pieza usando la manera tradicional.

Fuente: [13]

Para el cálculo de los costes de impresión de la pieza metálica, se solicitó un presupuesto personalizado a la empresa Direct Industry para obtener el precio del material necesario para imprimir. De esta manera, se obtuvo que el precio del polvo de titanio tipo AISi10Mg era de 80€/kg. Así mismo, se eligió una impresora Prusa P6, debido a que es un dispositivo con buenas prestaciones. El tiempo de impresión de esta pieza sería también de 6 horas. Para el cálculo del coste de operario, amortización y resto de costes se han utilizado los mismos datos del ejemplo anterior. Así se obtiene un coste estimado de 194,32€, por pieza. Por tanto, como podemos observar en la Figura 14, existe claramente un aumento en el coste de adquisición en comparativa con la Figura 15, donde se obtiene de la forma tradicional.

Datos del modelo		Coste de fabricacion de piezas impresas	
Coste polvo titanio [€/kg]	80	Masa de la pieza [kg]	1
		Tiempo impresión [h]	6
Coste luz [€/kWh]	0,15		
Consumo medio [kW]	0,50		
Coste por hora de luz [€/h]	0,075		
Coste ordenador	800		
Coste licencia SolidWorks	2000	Coste material	
Coste de impresora (€)	1049,61	- Polvo de titanio	80,00 €
Tiempo amortizacion [años]	1	- Electricidad	0,45 €
Días activa al año	48	Coste operario	
Horas por día [h]	6	- Preparación	8,00 €
Coste de amortización [€/h]	13,36670139	- Postproducción	8,00 €
Tasa de fallos	10%	Coste amortización	80,20 €
Coste por hora del operador [€/h]	16	Coste fallos	17,67 €
Tiempo preparación [h]	0,5		
Tiempo postproducción [h]	0,5	Coste pieza	194,32 €

Figura 14. Ejemplo de coste de un tubo intercooler de titanio.

Fuente: Elaboración propia

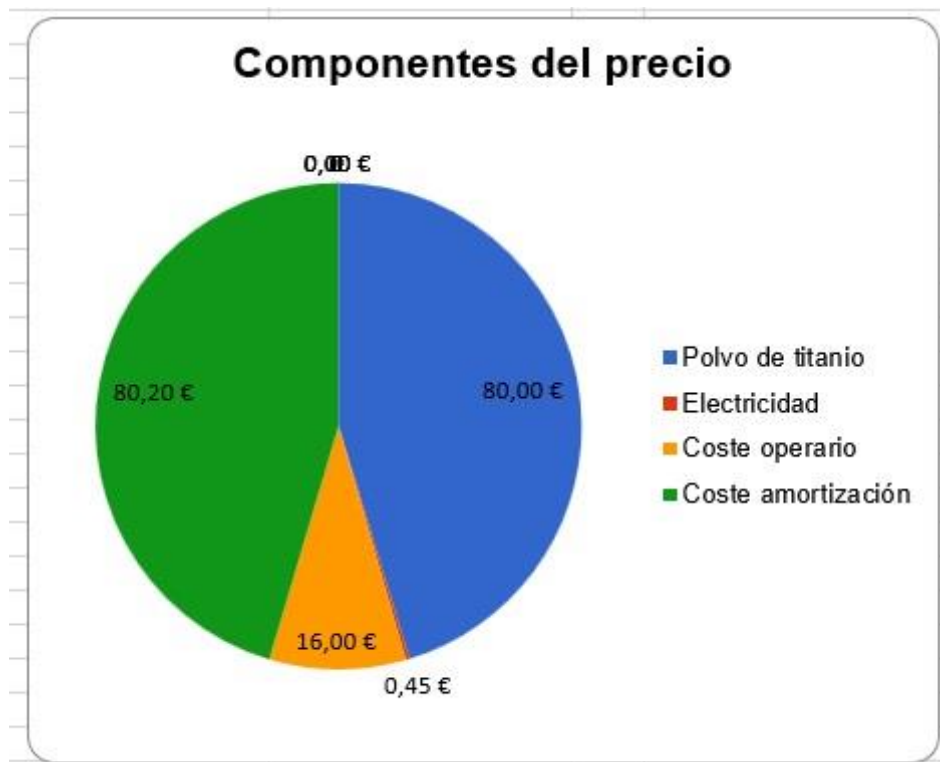


Figura 15. Gráfico de la distribución de costes de la pieza metálica.

Fuente: Elaboración propia

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE DEFENSA Sigle Ejército de Tierra

v.2.1.4r62 Miércoles 25-09-2019 11:18

Abastecimiento Mantenimiento Transporte Adquisiciones Planificación Datos Básicos Inge

Escritorio SIGLE Consultar Datos Artículo X

Datos Básicos > Artículos y Referencias > Artículos > Buscar Artículos > Consultar Datos Artículo

CONSULTAR DATOS ARTÍCULO

Identificativos Generales Funcionales Reducida CUF Art. Referencias Art. Proveedores Art.

Datos Generales

NIN 332122135 NOC/NPC 4710332122135 **TUBO RIGIDO SALIDA INTERCOOLER**

Grado Identificación 1 DESCRIPTIVO COMPLETO Denominación Reglamentaria

Cabecera 030000 REP. VEHICULO RUEDA Y REMOLQUE CF NOCs Frase

Clase/Subclase 0901 C.IX.a PIEZAS DE REPUESTO Fam. Apoyo 008102 REP. VEHICULO Y MAT. ESPECIFICO PCMV

Tipo K RESTO DE ARTICULOS EN SIGLE Tipo FACE

Tipo Recurso Voz Colectiva

Abastecimiento

Precio Estándar **120,37** Regulado N Canjeable N Consumible N Peticionable S Control Unitario N Cód. Control Un

Figura 16. Precio de la pieza usando la manera tradicional.

Fuentes: [13]

Se ha de tener en cuenta que con el número de repuestos a imprimir, la impresora está activa muy pocos días y esto provoca el elevado coste de impresión. Por tanto si se pudiese utilizar para imprimir repuestos similares para la unidad o realizar una adquisición conjunta entre varias unidades y utilizarla para imprimir repuestos para todas ellas, se podría reducir el coste de amortización importante y conseguir un ahorro en las unidades así producidas.

Así mismo, como se ha comentado para el caso de la impresión con material plástico, la principal ventaja de este método es la inmediatez en la reposición de los repuestos frente a los 2/3 meses que esa pieza tardaría en ser repuesta de la forma convencional, mejorando la calidad de la instrucción y la operatividad de la unidad de manera considerable.

## Capítulo 4. Conclusiones y trabajo futuro

A la vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que esta implementación en la unidad es rentable cuando hablamos de conseguir un aumento de operatividad de la unidad y de la reducción notable de los tiempos de espera. Sin embargo, hemos podido observar que los costes aumentan considerablemente si las impresoras las usamos simplemente solo para fabricar repuestos para nuestros vehículos tipo VAMTAC. Por ello, una posible solución a este problema sería fabricar todo tipo de repuestos que se necesiten en la unidad, o bien adquirir la máquina entre varias unidades o alquilar la máquina a unidades cercanas con el fin de tener más tiempo operativas las impresoras para reducir el coste de amortización.

Además, gracias a esta tecnología se es capaz de modificar piezas con el fin de mejorar sus capacidades. En primer lugar, se puede reducir el peso de estas debido a que la mayoría de las piezas están huecas al ser fabricadas con una impresora 3D. En segundo lugar, se pueden crear con materiales que posean mejores características que los originales, con el fin de aumentar la vida útil de la pieza, la resistencia a la fatiga, la dureza, etc. Así mismo, se ha comprobado que la implementación de esta tecnología hace posible que aumente en gran medida la operatividad de la unidad, debido a que la mayoría de los vehículos que están inoperativos se debe a falta de repuestos.

Cabe destacar que este trabajo fin de grado se ha centrado en conseguir repuestos de vehículos tipo VAMTAC de una forma más rápida y por ello únicamente se han analizado las piezas que se podrían fabricar para este vehículo con este tipo de impresoras, pero esta tecnología se aprovecharía de mejor manera si se implementase para cualquier tipo de vehículo y/o armamento. Inicialmente esto resultaría complejo sobre todo por el diseño de las piezas que se quieran crear, pero a medio y largo plazo dotaría a la unidad de una gran operatividad.

Por tanto, a la vista de los resultados sería interesante implantar esta tecnología para la fabricación de repuestos. En función de las necesidades y utilización varias unidades se podrían poner de acuerdo en comprar un par de impresoras para implantarlas en una de estas. De esa manera, la unidad donde se establecieran las impresoras se convertiría en un SIGLE, que recibiría los órdenes de compra de la misma manera pero que reduciría notablemente los tiempos de espera con los que cuenta el original.

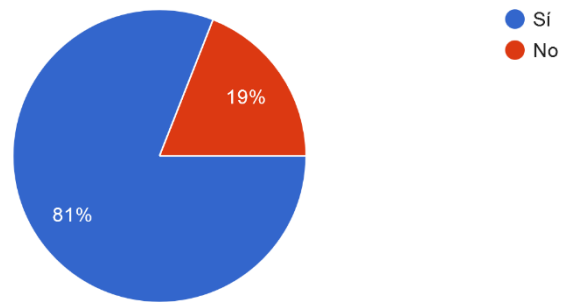


# Apéndice A

## A.1 Encuesta realizada al segundo escalón de mantenimiento

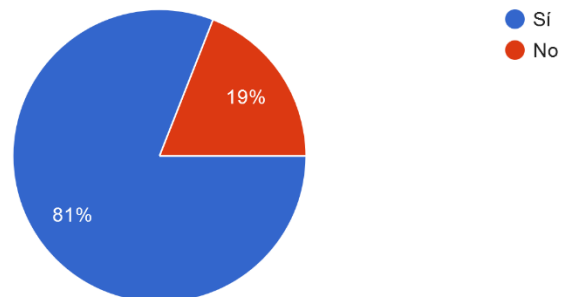
¿Aumentaría la operatividad de la unidad?

21 respuestas



¿Confía en una impresora 3D para que lo reabastezca?

21 respuestas



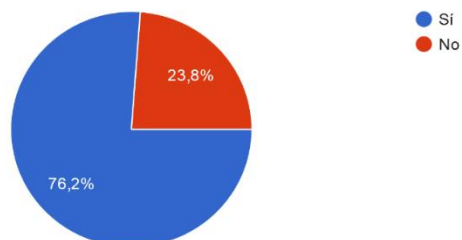
## ¿Que opina sobre este TFG?

21 respuestas

Interesante
Es interesante, siempre que las piezas tengan la dureza que las originales
Es muy buena propuesta y resolvería muchas averías en un tiempo record
Cb 1 Don Josué Guerrero, muy instructivo.
Creo que sería una buena solución para determinados tipos de piezas y repuestos
Es util
Nada
Algo muy necesario en los escalones las impresoras 3d
Es una idea que ya se está estudiando en algunos cuarteles y que está dando buenos resultados, me parece uno de los campos más interesantes a los que enfocar recursos de electronica e informatica.
Genial idea, ojala se pusiera en practica.
Un método demasiado novedoso para integrarlo en las unidades, se debería invertir en vehículos de mayor calidad para aumentar la operatividad de las unidades.

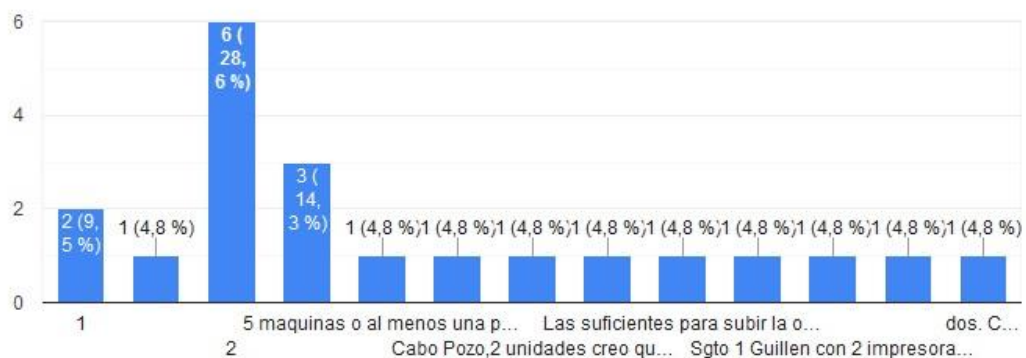
## ¿Lo Cree factible?

21 respuestas



## ¿Cuántas impresoras cree que serían necesarias para reabastecer al 2º escalón?

21 respuestas



# Apéndice B

## B.1 Análisis de riesgos.

Título Proyecto:		LA IMPRESIÓN 3D EN REPUESTOS DE SEGUNDO ESCALÓN DE MANTENIMIENTO DE VEHÍCULOS TIPO VAMTAC						
Análisis de riesgos								
Evaluación de riesgos								
ID	Descripción riesgo	Causa del riesgo	Impacto (bajo, medio, alto)	Probabilidad (1,2,3)	Clase riesgo o	Efectos riesgo	Medida	Clase riesgo tras implementar medida
1	Fallo mecánico en la impresora	Rotura de una de las piezas que conforman la impresora. Lubricante insuficiente en las partes que lo necesitan.	H	1	1H	Incapacidad de continuar con la producción de piezas.	Realizar un minucioso mantenimiento de la impresora cada vez que se termine de imprimir. Así como lubricar las partes, para cada impresión.	IL
2	Escasa resistencia a la fatiga de la pieza impresa	El material usado para fabricar la pieza no es el adecuado.	H	2	2H	Inutilidad de la pieza.El vehículo quede inoperativo	Hacer un minucioso análisis de los materiales a emplear en la producción según el tipo de la pieza. Teniendo en cuenta que propiedades mecánicas necesita.	RM
3	Fallo de impresión	No calibrar la impresora antes de producir una pieza. Causas medioambientales ajenas a la impresora (Terremotos).	H	1	1H	Inutilidad de la pieza.El vehículo quede inoperativo	Calibrar la impresora antes de imprimir una pieza.	IL
4	Errores en el diseño de la pieza	Malinterpretación de las medidas de la pieza. Falta de experiencia del personal	M	1	1M	Modificar el diseño de la pieza	Revisar todas las medidas de la pieza creada	IL

Figura 17. Tabla de Análisis de Riesgos.

# Apéndice C

## C.1 Piezas con posibilidad de ser impresas.

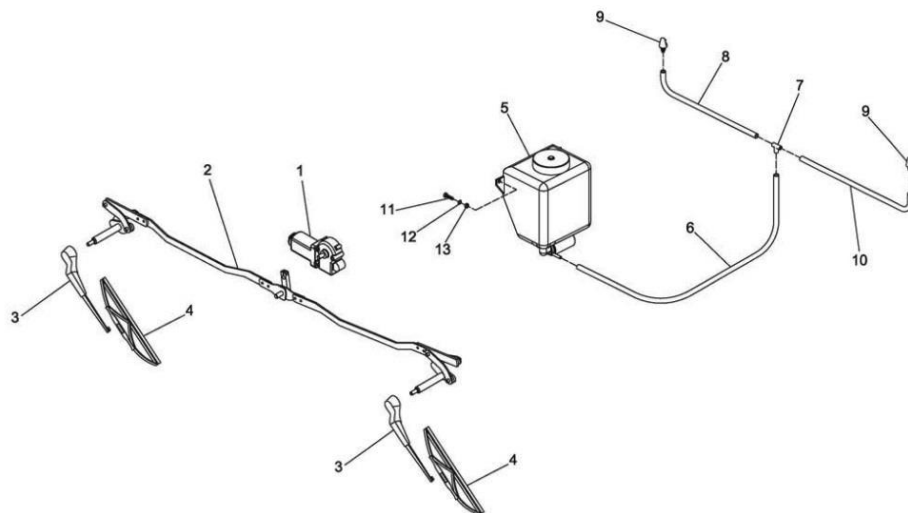


Figura 18. Deposito Lavaparabrisas. Número 5.

Fuente:[13]

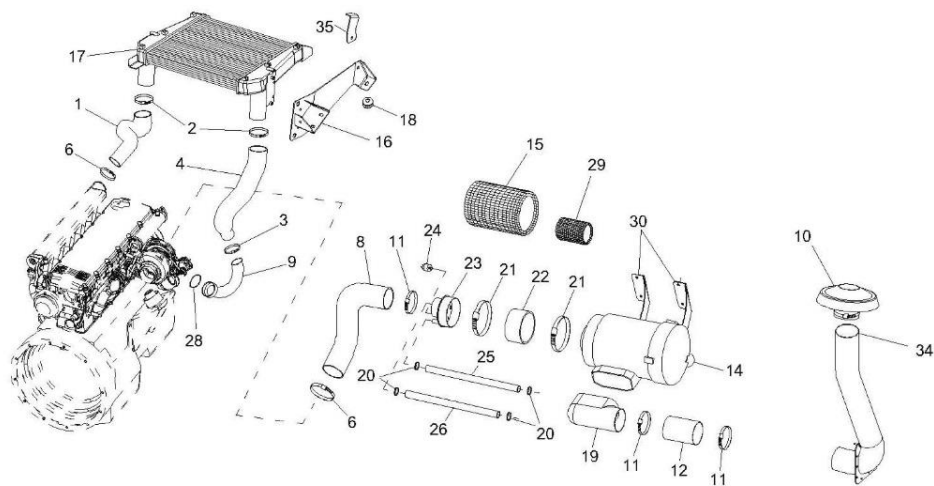


Figura 19. Tubo rígido intercooler. Número 1.

Fuentes:[13]

---

## Referencias

- [1] S. Goehrke, “2019, ‘Additive Manufacturing in Orbit’, 3D Printing Industry News.” [Online]. Available: [https://all3dp.com/1/3d-printing-industry-report/?utm\\_source=push](https://all3dp.com/1/3d-printing-industry-report/?utm_source=push). [Accessed: 26-Oct-2019].
- [2] J. Frax, “2016, ‘5 empresas que utilizan la impresión 3D en su producción’, FRAX3D.” [Online]. Available: <https://www.frax3d.com/5-empresas-que-utilizan-la-impresion-3d-en-su-produccion>. [Accessed: 26-Oct-2019].
- [3] C. Hernando, J. Pacheco, S. Mazo, P. Arteta, G. García, and M. Ángel, “2015, Rapid tooling aplicado a defensa , potenciales usos,” pp. 131–138.
- [4] V. Oliva, J. Pacheco, C. Hernando, M. Amada, G. García, and M. Ángel, “2016, Fabricación Aditiva en la Misión Antártica.”
- [5] D. E. Defensa, “2019, Fabricación aditiva.”
- [6] Á. Raul, “2018, La llamada ‘impresora 3D más grande del mundo’ construyó en 40 horas el primer cuartel de este tipo para el ejército de los EEUU’, Xalaka.” [Online]. Available: <https://www.xataka.com/makers/llamada-impresora-3d-grande-mundo-construyo-40-horas-primer-cuartel-este-tipo-para-ejercito-eeuu>. [Accessed: 29-Oct-2019].
- [7] S. Saunders, “2018, ‘US Army Demonstrates Latest 3D Printing, 3D Scanning, Drone Technologies’, 3DPrint, The Voice of 3D Printing, Additive Manufacturing.” [Online]. Available: <https://3dprint.com/210011/army-technology-demonstration/>. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [8] S. Saunders, “2019, ‘US Army Learning About and Using 3D Printing to Improve Military Readiness’, 3DPrint, The Voice of 3D Printing, Additive Manufacturing.” [Online]. Available: <https://3dprint.com/233454/army-3d-printing-military-readiness/>. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [9] Devon L. Suits, “2019, ‘3D printing technology enhancing logistics for Army’, The United States Army.”
- [10] T. Boissonneault, “2019, ‘U.S. Army adapts military-grade steel alloy for 3D printing ultra-strong parts’, 3D Printing Media Network.” [Online]. Available: <https://www.3dprintingmedia.network/army-steel-alloy-3d-printing/>. [Accessed: 23-Oct-2019].
- [11] A. Raya, “2019, ‘Una impresora 3D gigante ha creado una lancha entera de golpe’, El ESPAÑOL.”
- [12] “2016, ‘Los costes de la impresión 3D’, filament2print.” [Online]. Available: [https://filament2print.com/es/blog/18\\_costes-impresion-3D.html](https://filament2print.com/es/blog/18_costes-impresion-3D.html). [Accessed: 28-Oct-2019].
- [13] “Ministerio de Defensa - SIGLE.” [Online]. Available: [https://www.defensa.gob.es/defensa\\_yo/glosario/S/glosario-874.html](https://www.defensa.gob.es/defensa_yo/glosario/S/glosario-874.html). [Accessed: 25-Oct-2019].